

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**Antonio Zečević**

**SVOJSTVA KUKURUZNIH EKSTRU DATA S DODATKOM  
PIVSKOG TROPA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, svibanj, 2015.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek  
Zavod za za prehrambene tehnologije  
Katedra za tehnologiju ugljikohidrata  
Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska

**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti  
**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija  
**Nastavni predmet:** Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda  
**Tema rada** je prihvaćena na IX. sjednici Fakultetskog vijeća  
Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek održanoj 18. lipnja 2014.  
**Mentor:** *doc. dr. sc. Đurđica Ačkar*  
**Pomoć pri izradi:** *dr. sc. Antun Jozinović*

### SVOJSTVA KUKURUZHNIH EKSTRUDATA S DODATKOM PIVSKOG TROPA

*Antonio Zečević, 212/DI*

#### Sažetak:

Ekstruzija, kao jedinični proces u proizvodnji hrane, bilježi sve veću primjenu i pruža obilje mogućnosti poboljšanja nutritivnih svojstava namirnica. Ekstruzijom se uglavnom procesira hrana bogata škrobom i proteinima, a kao glavna sirovina ističe se kukuruzna krupica te razni dodaci.

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj dodatka pivskog tropa u svrhu obogaćivanja ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice te njegov utjecaj na svojstva ekstrudata. Omjeri smjese (kukuruzna krupica : pivski trop) korištenih u istraživanju su: 95:5, 90:10 i 85:15. Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su pri temperaturnom profilu 135/170/170 °C. Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva u odnosu na neekstrudirane uzorke.

Dodatak pivskog tropa imao je za posljedicu smanjenje ekspanzijskog omjera i povećanje nasipne mase ekstrudata. Tvrdća ekstrudata se povećala dodatkom pivskog tropa, dok se s druge strane lomljivost smanjila. Dodatak pivskog tropa uzrokovao je potamnijavanje uzoraka, dok sam proces ekstruzije nije imao preveliki utjecaj na promjenu boje. Indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi znatno su se povećali nakon provedene ekstruzije. Procesom ekstruzije nije značajno promijenjen udio pepela u uzorcima, ali se udio masti smanjio. Dodatak pivskog tropa i proces ekstruzije uzrokovali su smanjenje viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C i viskoznosti pri 50 °C te su ekstrudirani uzorci bili manje skloni retrogradaciji.

**Ključne riječi:** ekstruzija, kukuruzna krupica, pivski trop

**Rad sadrži:** 40 stranica  
19 slika  
2 tablice  
0 priloga  
28 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

#### Sastav Povjerenstva za obranu:

- |   |               |
|---|---------------|
| 1. dr. sc. <i>Drago Šubarić</i> , red. prof.      | predsjednik   |
| 2. dr. sc. <i>Đurđica Ačkar</i> , doc.            | član-mentor   |
| 3. dr. sc. <i>Jurislav Babić</i> , izv. prof.     | član          |
| 4. dr. sc. <i>Borislav Miličević</i> , izv. prof. | zamjena člana |

**Datum obrane:** 29. svibnja 2015.

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek  
Faculty of Food Technology Osijek  
Department of Food Technologies  
Subdepartment of Carbohydrate Technology  
Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia

**Scientific area:** Biotechnical sciences  
**Scientific field:** Food technology  
**Course title:** Technology of carbohydrates and confectionary products  
**Thesis subject** was approved by the Faculty Council of the Faculty of Food Technology at its session no. IX. held on June 18th, 2014.  
**Mentor:** *Đurđica Ačkar*, PhD, assistant prof.  
**Technical assistance:** *Antun Jozinović*, PhD

### PROPERTIES OF CORN EXTRUDATES WITH ADDITION OF BREWER'S SPENT GRAIN

*Antonio Zečević, 212/DI*

#### Summary:

Extrusion, as an operation in food production, is being used more often as time goes by and it offers a variety of possibilities for improvement of the nutritional properties of food. Foods rich on starch and proteins are mostly being processed via extrusion and corn meal is considered as the main raw material in extrusion cooking technology.

The aim of this research was to determine the influence of brewer's spent grain addition on properties of extruded products based on corn meal. Mixture ratios (corn meal : brewer's spent grain) used in this study were: 95:5, 90:10 and 85:15. Mixtures with 15% moisture content were extruded at temperature regime 135/170/170 °C. Physical, thermophysical and rheological properties of the obtained extrudates were investigated in relation to non-extruded samples.

It was found that with addition of brewer's spent grain expansion ratio decreased and bulk density of extrudates increased. The hardness of extrudates increased with adding of brewer's spent grain in mixture, but on the other hand fracturability decreased. Brewer's spent grain addition caused darkening of the samples, although extrusion didn't have significant influence on the color. Extrusion also resulted in the increase of water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI). While the ash content in samples is slightly changed, fat content is decreased. Addition of brewer's spent grain and extrusion process caused the reduction of peak viscosity and viscosities at 92 °C and 50 °C, and the extruded samples were less prone to retrogradation.

**Key words:** extrusion, corn meal, brewer's spent grain

**Thesis contains:** 40 pages  
19 figures  
2 tables  
0 supplements  
28 references

**Original in:** Croatian

#### Defense committee:

- |   |              |
|---|--------------|
| 1. <i>Drago Šubarić</i> , PhD, prof.                | chair person |
| 2. <i>Đurđica Ačkar</i> , PhD, assistant prof.      | Supervisor   |
| 3. <i>Jurislav Babić</i> , PhD, associate prof.     | Member       |
| 4. <i>Borislav Miličević</i> , PhD, associate prof. | stand-in     |

**Defense date:** May 29th, 2015.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in** Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

## Sadržaj

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. EKSTRUZIJA .....</b>	<b>4</b>
2.1.1. Primjena ekstruzije kroz povijest .....	4
2.1.2. Proizvodi ekstruzije .....	5
2.1.3. Ekstruzija u prehrambenoj industriji.....	5
2.1.4. Podjela ekstrudera.....	7
<b>2.2. PRINCIP RADA EKSTRUDERA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA .....</b>	<b>12</b>
2.3.1. Kukuruz.....	13
2.3.2. Pivski trop .....	14
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. ZADATAK.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. MATERIJALI I METODE .....</b>	<b>16</b>
3.2.1. Materijali .....	16
3.2.2. Metode.....	16
<b>4. REZULTATI .....</b>	<b>23</b>
<b>5. RASPRAVA .....</b>	<b>30</b>
<b>6. ZAKLJUČCI .....</b>	<b>36</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>38</b>

## **1. UVOD**

Ekstruzija predstavlja proces koji u prehrambenoj industriji bilježi sve veću primjenu, što je uglavnom uzrokovano praktičnim svojstvima tog procesa. Ekstruzijsko kuhanje pružilo je mogućnost korištenja sirovina koje donedavno nisu imale veliki ekonomski značaj ili su čak smatrane otpadom. Tako je tržište obogaćeno visokokvalitetnim prehrambenim proizvodima povećane nutritivne i/ili funkcionalne vrijednosti. Praktični značaj ekstruzije ogleda se u mogućnosti implementacije ovog procesa uz relativno niske troškove ulaganja, a uređaji uglavnom imaju višestruku funkciju i jednostavni su za rukovanje.

Primjena ekstrudera nudi mnoštvo uvjeta i mogućnosti pod kojima se iz različitih sirovina mogu stvoriti novi prehrambeni proizvodi. Iako su „snack“ proizvodi bili prvi ekstrudirani proizvodi sa značajnim komercijalnim uspjehom, više se ne može reći da su i jedini. Današnji ekstruderi proizvode mnoge prehrambene proizvode od nutritivnog značaja. Kada svemu dodamo i činjenicu da su ovi uređaji relativno povoljni, jednostavni za održavanje i stvaraju minimalan utrošak energije, neosporna je činjenica kako je ekstruzija ustvari neizostavan dio mozaika prehrambene industrije.

## **2. TEORIJSKI DIO**

## 2.1. EKSTRUZIJA

Brojni razlozi doprinijeli su rastu popularnosti ekstruzijskog kuhanja u posljednja dva desetljeća u odnosu na druge tradicionalne metode procesiranja hrane, a neki od njih su:

- prilagodljivost,
- karakteristike proizvoda,
- ušteda energije,
- niski troškovi,
- razvoj novih proizvoda,
- visoka produktivnost i automatizacija procesa,
- visoka kvaliteta proizvoda,
- ekstruzijom nastaje mala ili neznatna količina otpada,
- scale-up,
- primjena ekstrudera kao kontinuiranih reaktora (Riaz, 2000.).

Ekstruzija je mehanički i termički proces u kojem se materijal s pomoću klipa (stapa) ili jednog ili dva rotirajuća puža u stacionarnom kućištu pod tlakom prisiljava na gibanje, miješanje i smicanje kroz ekstruder i sapnicu specifičnog oblika kako bi se proizvod oblikovao i/ili ekspanzirao uz sušenje (Rossen i Miller, 1973.).

Proces ekstruzije uključuje:

- želatinizaciju,
- kuhanje,
- molekularnu dezintegraciju,
- miješanje,
- sterilizaciju,
- oblikovanje,
- homogenizaciju,
- ekspanzijsko sušenje (Lovrić, 2003.).

### 2.1.1. Primjena ekstruzije kroz povijest

Proces ekstrudiranja prvi puta se spominje 1797. godine u Engleskoj, kada ga je Joseph Bramah primijenio za proizvodnju sapuna, pasti i mase za crijepe, upotrebom ručne preše (Riaz, 2000.).

Početak ozbiljne primjene ekstruzije seže u polovicu 30-ih godina dvadesetog stoljeća, razvojem prvih dvopužnih ekstrudera. Nedugo zatim, jednopužni ekstruderi postali su uobičajeni u proizvodnji tjestenine.



Završetkom II. Svjetskog rata u SAD-u se razvija proizvodnja ekspanziranih „snack” proizvoda na bazi kukuruza i riže (Mościcki, 2011.).

Ekspanzija korištenja ekstrudera u prehrambenoj industriji dogodila se u drugoj polovici dvadesetog stoljeća korištenjem jednupužnih ekstrudera u proizvodnji različitih vrsta „snack” proizvoda (Brnčić i sur., 2008.).

### **2.1.2. Proizvodi ekstruzije**

Ekstruzijsko kuhanje u prehrambenoj industriji nalazi primjenu u proizvodnji mnogih prehrambenih proizvoda, od najjednostavnijih ekspanziranih „snack” proizvoda do maksimalno procesiranih zamjena za meso. Među najpoznatije proizvode ekstruzijskog kuhanja ubrajaju se:

- ekstrudirani „snack” proizvodi,
- RTE žitarice za doručak i ranznovrsna hrana za doručak na bazi žitarica,
- „snack” peleti,
- predkuhana tjestenina,
- konditorski proizvodi: razni slatkiši i žvakaće gume,
- hrana za bebe, modificirano brašno, instant koncentрати, funkcionalni sastojci,
- teksturirani biljni proteini (uglavnom sojini) za proizvodnju zamjena za meso,
- hrana za kućne ljubimce (Mościcki, 2011.).

### **2.1.3. Ekstruzija u prehrambenoj industriji**

U tehnološkoj primjeni ekstruzije u proizvodnji prehrambenih proizvoda obično se razlikuju tri osnovna postupka:

- hladno ekstrudiranje;
- želatinizacija (želiranje);
- toplo ekstrudiranje.

Razvojem početnih funkcija miješanja i oblikovanja proizvoda te uvođenjem novih jediničnih operacija i procesa, poput kuhanja i teksturiranja, i njihovim povezivanjem u jedinstveni kontinuirani proces, suvremeni uređaji za ekstruziju (ekstruderi) mogu se smatrati HTST (eng. *high temperature/short time*) bioreaktorima, koji služe za pretvorbu različitih sirovina u modificirane sastojke hrane ili gotove prehrambene proizvode. Osnovne značajke suvremenih ekstrudera, posebice onih namijenjenih ekstruzijskom kuhanju su sljedeće:

- visoka temperatura: 150 – 220 °C, postignuta trenjem, prijelazom topline kroz kućište i/ili injektiranjem pare;

- kratko vrijeme zadržavanja materijala: 100 - 200 s za dužinu kućišta od 0,2 – 3 m;
- visoki tlak: 100 – 200 bara, ovisno o karakteristikama puža;
- velika brzina smicanja:  $\geq 100 \text{ s}^{-1}$ , broj okretaja puža 50 – 1000 rpm;
- niska vlažnost: 10 – 30%;
- veliki unos energije: 0,3 – 2 MJkg<sup>-1</sup>;
- veliki kapacitet: do 10 Th<sup>-1</sup> (Lovrić, 2003.).

Unutar kućišta ekstrudera odvijaju se jedinstvene kemijske transformacije, koje zajedno sa različitim sastavima namirnica predstavljaju značajan izazov prehranbenim znanstvenicima. Pri modeliranju ekstruzijskog procesa treba uzeti u obzir prirodne varijacije udjela vlage, škroba i proteina u namirnicama kao i eksperimentalne promjene (Riaz, 2000.).

Dva čimbenika koji najviše utječu na krajnja svojstva ekstrudiranog proizvoda su reološka svojstva namirnica (udio vode, agregatno stanje, kemijski sastav, pH vrijednost) i procesni parametri (temperatura, tlak, dimenzije i konfiguracija pojedinih dijelova ekstrudera, veličina smicanja).

Parametri ekstruzije koji utječu na nutritivna svojstva namirnica su:

- sastav materijala koji se podvrgava ekstruziji,
- prethodni procesi pripreme materijala,
- udio vode,
- brzina punjenja ekstrudera,
- brzina i konfiguracija pužnice,
- temperatura kućišta,
- konfiguracija sapnice.

Značajna pažnja pridaje se kemijskim promjenama te međusobnoj interakciji pojedinih sastojaka namirnica, prije svega škroba, proteina, lipida te prehranbenih vlakana, vitamina minerala koje dovode do povećanja nutritivne vrijednosti proizvoda. Važno je spomenuti i da se prilikom ekstruzije u namirnicama razaraju mnogi toksini i antinutrijenti povećavajući njihovu zdravstvenu ispravnost i probavljivost.

### 2.1.4. Podjela ekstrudera

Ekstruderi koji se koriste u prehrambenoj industriji mogu se klasificirati na osnovi velikog broja kriterija, ali praktični značaj ponajviše imaju sljedeći:

1. Termodinamički uvjeti rada;
2. Način stvaranja tlaka;
3. Brzina smicanja (Lovrić, 2003.).

### Podjela ekstrudera prema termodinamičkim uvjetima rada

#### 1. Adijabatski ekstruderi

Adijabatski ekstruderi svu toplinu stvaraju trenjem između materijala i kućišta ekstrudera, pri čemu se neznatna količina topline gubi. Neki ekstruderi u početnoj fazi zahtijevaju vanjski izvor topline, ali nastavljaju raditi u adijabatskim uvjetima. Materijali koji se procesiraju u ovim ekstruderima imaju nizak udio vode (8 - 14%) (Riaz, 2000).

#### 2. Izotermni ekstruderi

Izotermni ekstruderi obrađuju željeni materijal pri konstantnim uvjetima temperature cijelom dužinom kućišta i uglavnom se upotrebljavaju za oblikovanje (Riaz, 2000.).

#### 3. Politropski ekstruderi

Prilikom ekstrudiranja materijala u politropskim uvjetima, sustavu se prema potrebama procesa dovodi ili odvodi toplina. U prehrambenoj industriji se uglavnom koriste politropski ekstruderi sa vanjskim izvorima zagrijavanja i hlađenja, a toplina se generira trenjem (Riaz, 2000.).

### Podjela ekstrudera prema načinu stvaranja tlaka

#### 1. Ekstruderi pozitivnog tlaka (direktnog tipa)

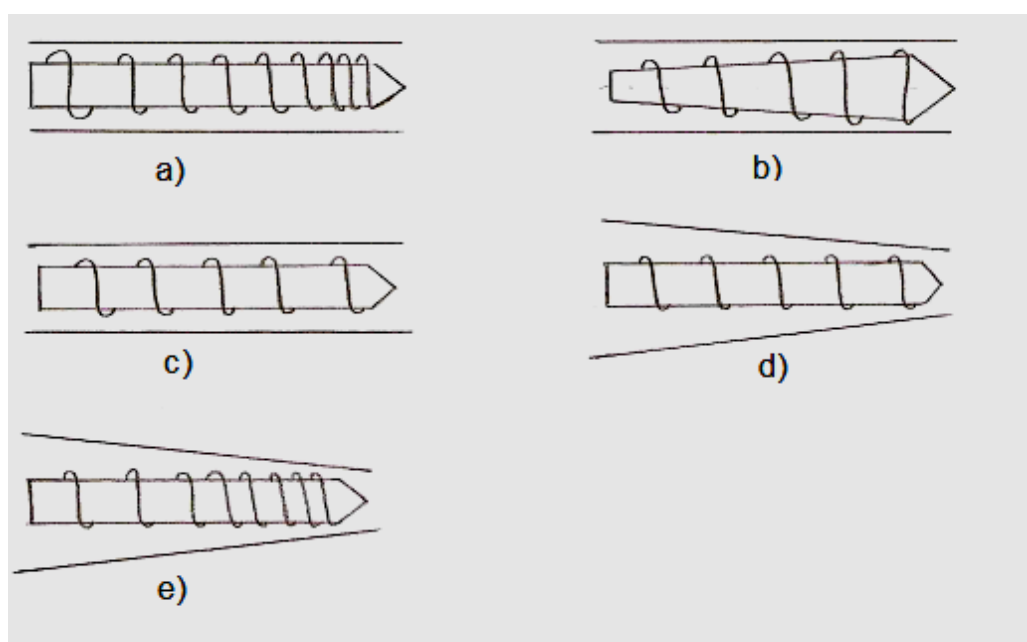
Ekstruderi pozitivnog tlaka rade pomoću klipa pri čemu je materijal zbog viskoznog gibanja izložen smiku. Ovi ekstruderi se primjenjuju kod proizvoda kod kojih nije poželjna značajna promjena svojstava ekstrudata u odnosu na ishodišni materijal (kobasica, čokolada, žvakaće gume) (Lovrić, 2003.).

#### Pužni (vijčani) ekstruderi

Najširu primjenu u prehrambenoj industriji imaju upravo pužni ekstruderi širokog raspona karakteristika i mogu biti jednopužni ili dvopužni, različitih konstrukcija, prilagođeni specifičnim zahtjevima pojedinih procesa.

Jednopusni ekstruderi su prikladni za postizanje visokih tlakova, ovisno o dužini pužnice, dubini kanala, usponu puža i prividnoj viskoznosti materijala, a prema izvedbi puža i kućišta razlikujemo jednopusne ekstrudere:

- a) kod kojih se korak puža smanjuje prema kraju;
- b) kod kojih se promjer puža povećava prema kraju;
- c) sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta;
- d) kod kojih se kućište konusno sužava;
- e) kod kojih se korak smanjuje prema kraju, a kućište se konusno sužava (Lovrić, 2003.)



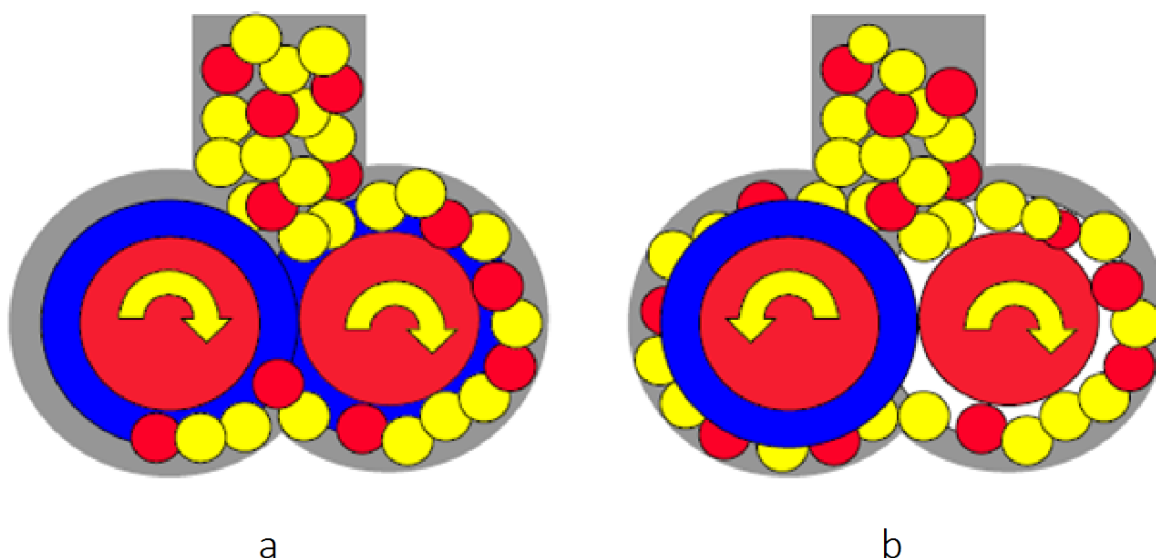
**Slika 1** Tipovi puža i kućišta kod jednopusnih ekstrudera. a) korak puža se smanjuje prema kraju; b) promjer puža se povećava prema kraju; c) sa navojem (žljebovima) na unutarnjoj površini kućišta; d) kućište se konično sužava; e) korak puža se smanjuje prema kraju, a kućište se konično sužava (Šubarić, 2011.)

Osnovna razlika između jednopusnih i dvopusnih ekstrudera ogleda se u transportu materijala unutar uređaja. Kod jednopusnih ekstrudera do transporta materijala dolazi uslijed razlike sila trenja i smicanja na mjestima dodira materijala s pužnicom i kućištem. Kod dvopusnih ekstrudera s uzajamno zahvaćenim puževima onemogućeno je okretanje materijala s pužnicom. U tom slučaju je trenje od manjeg značaja, iako geometrija pužnice ima određeni utjecaj. Kod pužnih ili vijčanih ekstrudera zbog viskoznog gibanja materijala između puževa te između puževa i kućišta dolazi do smicanja i oslobađanja topline. Osim toga materijal se

značajno miješa. Što je niža vlažnost materijala, sila smicanja je veća pa se oslobađa veća količina topline (Lovrić, 2003.).

Na **Slici 2** prikazana je podjela ekstrudera sa dva puža koji mogu biti:

- a) sa istosmjernim okretajem puževa;
- b) sa suprotnim smjerom okretaja puževa.



**Slika 2** Tipovi dvopužnih ekstrudera: a – sa istosmjernim okretajem puževa; b – sa suprotnim smjerom okretaja puževa

## 2. Ekstruderi indirektnog tipa – viskozno-vlačnog toka

Ovi ekstruderi su izvedeni tako da se tijekom gibanja materijala kroz ekstruder materijal ponaša kao ne-Newtonovska tekućina. Oni bitno utječu na promjenu svojstava materijala, a koriste se za dobivanje proizvoda u obliku pločica i za ekstrudiranje vrlo ljepljivih materijala. Osnovna primjena ovih ekstrudera je u konditorskoj industriji (Lovrić, 2003.).

## Podjela ekstrudera prema brzini smicanja

Prema brzini smicanja kojem je materijal izložen tijekom ekstruzije ekstruderi se dijele na:

- Nisko-smične ekstrudere;
- Srednje-smične ekstrudere;
- Visoko-smične ekstrudere (Lovrić, 2003.).

## 2.2. PRINCIP RADA EKSTRUDERA

Sve prednosti ekstruzije rezultat su mnoštva funkcija koje ekstruderi imaju u procesu obrade namirnica kao što su:

- aglomeracija,
- izdvajanje plinova,
- dehidracija,
- ekspanzija,
- želatinizacija škroba,
- mljevenje,
- homogenizacija,
- miješanje,
- pasterizacija i sterilizacija,
- denaturacija proteina,
- oblikovanje,
- smicanje,
- izmjena teksture,
- kuhanje,
- ujednačenje (Riaz, 2000.).

Iako se ekstruderi prema svojoj namjeni i karakteristikama mogu bitno razlikovati, svaki se proces ekstruzije provodi kroz tri zone ekstrudera:

### 1. Zona napajanja

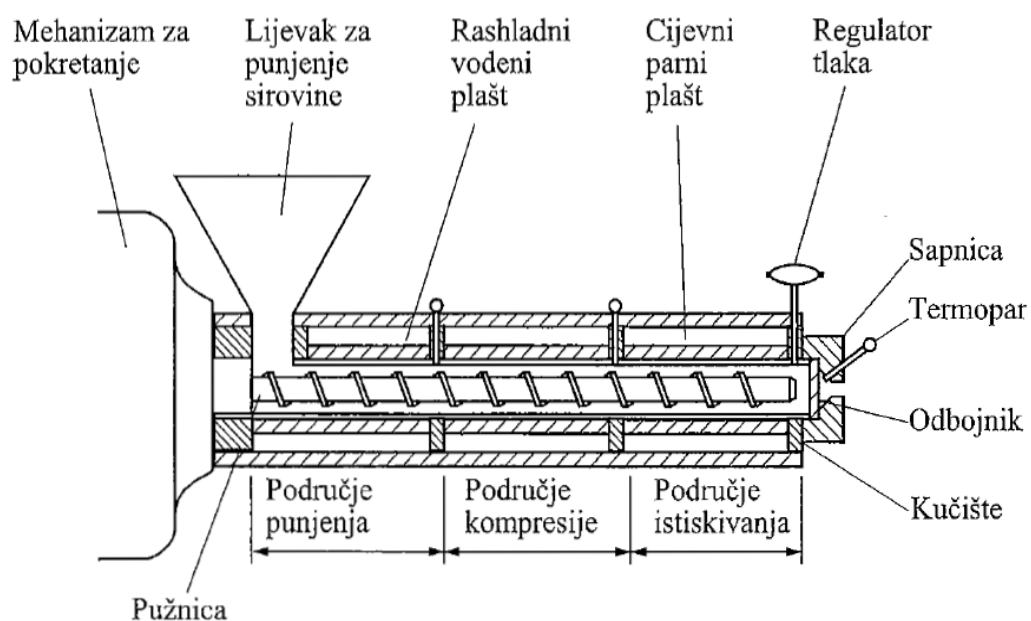
Uloga zone napajanja je prihvatanje materijala i transport istog do zone kompresije (Pozderović, 2009.).

### 2. Zona kompresije

U ovom dijelu ekstrudera dolazi do naglog povećanja omjera kompresije i većina mehaničke energije pretvara se u toplinu viskoznom disipacijom što dovodi do porasta temperature i plastificiranja materijala koji je u početku bio praškast ili u obliku granula (Pozderović, 2009.).

### 3. Zona istiskivanja

Stlačeni materijal iz zone kompresije dopijva u završnu zonu istiskivanja gdje se materijal homogenizira i potiskuje kroz sapnicu pri konstantnom tlaku (Pozderović, 2009.).



**Slika 3** Presjek jednupužnog ekstrudera s odgovarajućim zonama (sekcijama)  
(Lovrić, 2003.)

## 2.3. SIROVINE ZA PROIZVODNJU EKSTRUDIRANIH PROIZVODA

Sirovine koje se koriste za proizvodnju ekstrudiranih prehrambenih proizvoda su uglavnom tvari bogate škrobom i proteinima.

Tijekom ekstruzije dolazi do želatinizacije škroba pod utjecajem topline i vode i kao takav je topljiv i probavljiv te bolje upija i zadržava plinove. Proteini se denaturiraju i znatno se smanjuje njihova topljivost, postaju savitljivi i obuhvaćaju zračne mjehuriće usljed pucanja celulozne opne oko proteina, a po izlasku iz ekstrudera se stvrdnjavaju (Moscicki, 2011.).

Glavne sirovine koje u ekstruziji služe kao izvor škroba su zrna pšenice, kukuruza i riže te škrob iz krumpira. Ostale žitarice imaju ograničenu primjenu, te se koriste uglavnom kao poboljšivači okusa i nutritivne vrijednosti gotovih proizvoda. Proizvodnja tzv. teksturiranih proteina (TVP – engl. *texturized vegetable protein*) zahtijeva sirovine s visokim udjelom proteina zaslužnih za dobijanje vlaknaste teksture. To su uglavnom brašna raznih žitarica, sojino brašno, suncokretovo brašno, grašak, bob, lupina te pšenični gluten (Moscicki, 2011.).

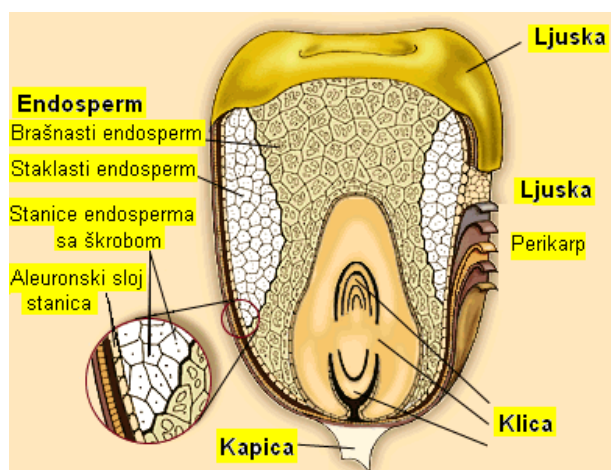


### 2.3.1. Kukuruz

Najzastupljenija je sirovina u proizvodnji ekstrudiranih proizvoda. Pojavljuje se u raznim oblicima ovisno o zemljopisnom podrijetlu. Sve sorte koje se koriste u prehrambenoj industriji grubo se dijele na tvrde i meke sorte. Tvrde sorte se uglavnom koriste za proizvodnju uobičajenih kukuruznih pahuljica, dok se iz mekih sorti proizvodi kukuruzna krupica i brašno (Moscicki, 2011.).

Zrno kukuruza čine 4 osnovna dijela:

- ljuska,
- klica,
- brašnasti endosperm,
- staklasti endosperm (Šubarić i sur., 2011.).



**Slika 4** Dijelovi zrna kukuruza (Babić, 2011.)

Kada je u pitanju udio škroba, najzanimljiviji dio zrna kukuruza je endosperm, koji zauzima najveći udio i sadrži najviše molekula škroba. Sastoji se iz brašnastog i staklastog endosperma u omjeru 35:65 te može varirati ovisno o sadržaju proteina i vrsti kukuruza i u prosjeku sadrži oko 98% škroba. U brašnastom endospermu se nalazi znatno veća količina škroba te se lakše izdvaja nego iz staklastog endosperma (Šubarić i sur., 2011.).

Proteinima kukuruza poklanja se velika pažnja zbog velikog značaja u ljudskoj prehrani. Tu govorimo o smjesi nekoliko vrsta proteina: globulini, prolamini te gluten (Šubarić i sur., 2011.).

### 2.3.2. Pivski trop

Pivski trop je glavni nusproizvod u pivskoj industriji zauzimajući oko 85% od ukupno nastalih nusproizvoda u proizvodnji piva (Mussatto i sur., 2006.).

Pivski trop zaostaje kao neotopljena kruta komponenta nakon filtracije pивske (ječmene) sladovine. Osim dijelova ječma kao najzastupljenije komponente, u pivskom tropu se mogu naći i rezidue hmelja ili nesladovanih sirovina (riža, kukuruz ili pšenica). Stoga, sastav pivskog tropa može varirati ovisno o vrsti piva koje se proizvodi (Mussatto i sur., 2006.).

To je lignocelulozni materijal koji sadrži oko 17% celuloze, 28% neceluloznih polisaharida te 28% lignina. Dostupan je u velikim količinama tijekom cijele godine, ali se njegova glavna upotreba svodi na životinjsku ishranu. Međutim, zahvaljujući visokom sadržaju proteina i vlakana, itekako može poslužiti i kao koristan dodatak u ljudskoj prehrani jer predstavlja dobru sirovinu (u obliku brašna) za proizvodnju pahuljica za doručak, kruha od cjelovitog zrna, biskvita. Međutim, zbog boje i okusa, postoje određena ograničenja u korištenju brašna od pivskog tropa kao proteinski aditiv ili djelomičnu zamjenu za druga brašna.  $\beta$ -glukan iz pivskog tropa ima značajan pozitivan utjecaj na zdravlje, što ga čini odličnom sirovinom za proizvodnju funkcionalnih proizvoda (Jozinović i sur., 2014.).



**Slika 5** Pivski trop

### **3. EKSPERIMENTALNI DIO**

### 3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjese kukuruzne krupice s pivskim tropom (omjeri krupica : trop = 95:5; 90:10; 85:15). Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u laboratorijskom Ekstruderu Do-Coder, Brabender 19/20 DN, GmbH, Duisburg, Njemačka.

Dobivenim ekstrudatima ispitana su fizikalna, termofizikalna i reološka svojstva te su rezultati uspoređeni s kontrolnim uzorcima kukuruzne krupice.

### 3.2. MATERIJALI I METODE

#### 3.2.1. Materijali

Materijali korišteni u istraživanju su:

1. kukuruzna krupica iz mlina Đakovo, tvrtke Žito d.o.o. Osijek (proizvedena 2014. godine);
2. pivski trop iz Osječke pivovare d.d. (proizveden 2013. godine).

#### 3.2.2. Metode

##### Ekstruzija smjese kukuruzne krupice s pivskim tropom

Smjese vlažnosti 15% ekstrudirane su u laboratorijskom Ekstruderu Do-Coder, Brabender 19/DN, GmbH, Duisburg, Njemačka pri režimu:

- puž: 4:1;
- sapnica: 4 mm
- temperaturni profil: 135/170/170 °C.

Dobiveni ekstrudati su osušeni na zraku te su na njima provedena ispitivanja.

##### Određivanje dijametra ekstrudata ( $d_e$ ) i ekspanzijskog omjera (EO)

Ekspandiranim suhim ekstrudatima izmjeren je dijametar pomoću pomičnog mjerila (u milimetrima). Mjerenje se za svaki uzorak ekstrudata napravi pet puta te se izračuna srednja vrijednost. Ekspanzijski omjer predstavlja vrijednost dijametra ekstrudata podijeljenog s dijametrom sapnice ekstrudera (mm) te se računa prema formuli **(1)** (Brnčić i sur., 2008.):

$$EO = \frac{d_e}{d_s} \quad (1)$$

gdje je:  $EO$  — ekspanzijski omjer;

$d_e$  — promjer ekstrudata [mm];

$d_s$  — promjer sapnice [mm].

### Određivanje nasipne mase ekstrudata

Određivanje nasipne mase provedeno je prema metodi Alvarez-Martinez i sur. (1988.), pri čemu se nasipna masa ekstrudata računa prema formuli (2):

$$BD = \frac{4m}{\pi d^2 L} \quad (2)$$

pri čemu je:  $BD$  — nasipna masa ekstrudata [ $\text{gcm}^{-3}$ ];

$m$  — masa ekstrudata [g];

$d$  — promjer ekstrudata [cm];

$L$  — dužina ekstrudata [cm].

### Određivanje teksture ekstrudata

Tekstura ekstrudata određena je pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System (**Slika 6**), uz primjenu metode za mjerenje tvrdoće i lomljivosti štapića pomoću noža. Ekstrudati su za potrebe mjerenja rezani na štapiće dužine 10 cm te su podvrgavani sljedećem testu:

- brzina prije mjerenja: :  $1,0 \text{ mms}^{-1}$ ;
- brzina za vrijeme mjerenja:  $1 \text{ mms}^{-1}$ ;
- brzina nakon mjerenja:  $10 \text{ mms}^{-1}$ ;
- put noža: 3 mm.



**Slika 6** TA.XT2 Plus Texture Analyser (Tanasković, 2014.)

## Određivanje boje kromametrom

Za određivanje boje samljevenih ekstrudata, odnosno neekstrudiranih smjesa brašna korišten je kromametar Konica Minolta CR-300 (**Slika 7**) s nastavkom za praškaste materijale. Prije mjerenja boje u sustavima CIELab i LCh sustavima kromametar je kalibriran pomoću kalibracijske pločice. Za svaki uzorak provedeno je pet mjerenja u sustavima Lab i LCh te je određena srednja vrijednost.



**Slika 7** Kromametar Konica Minolta CR-300 (Tanasković, 2014.)

## Određivanje indeksa apsorpcije (WAI) i indeksa topljivosti u vodi (WSI)

Indeks apsorpcije (WAI) i indeks topljivosti u vodi (WSI) određeni su prema metodi za žitarice (Anderson i sur., 1969.).

Izvaže se 2,5 g samljevenog uzorka u tariranu kivetu za centrifugiranje, volumena 50 mL. U svaki uzorak doda se 30 mL destilirane vode, ispirući stjenke kivete, te se uzorci ostave 30 minuta stajati uz povremeno miješanje, svakih 5 minuta.

Nakon toga se uzorci centrifugiraju na 3000 okretaja  $\text{min}^{-1}$  tijekom 15 minuta. Supernatant se dekantira u prethodno osušene i izvagane posudice za sušenje i suši pri 105 °C do konstantne mase.

Indeks apsorpcije (WAI) je masa gela dobivenog nakon dekantiranja supernatanta po jedinici suhe tvari početnog uzorka, a računa se prema formuli **3**.

Indeks topljivosti u vodi (WSI) predstavlja masu suhe tvari u supernatantu, izraženu kao postotak suhe tvari u početnom uzorku, a računa se prema formuli **4**.

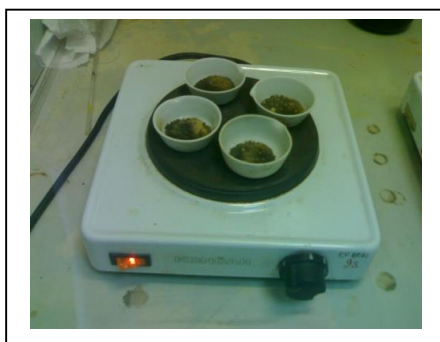
$$WAI [gg^{-1}] = \frac{\text{masa gela}}{\text{masa suhe tvari u početnom uzorku}} \quad (3)$$

$$WSI [\%] = \frac{\text{masa suhe tvari u supernatantu}}{\text{masa suhe tvari u početnom uzorku}} * 100 \quad (4)$$

### Određivanje količine pepela (ISO 5984)

Metoda se zasniva na spaljivanju ispitivanog uzorka u mufolnoj peći na temperaturi  $550^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$  dok ne sagori sva organska tvar i vaganju ostatka.

Prije vaganja lončiče treba žariti na temperaturi  $550^{\circ}\text{C}$  30 minuta, ohladiti u eksikatoru na sobnoj temperaturi i vagati na analitičkoj vagi. U lončiče za spaljivanje se izvaže 5 g uzorka ( $m_0$ ) — ako se očekuje manje od 1% pepela na suhu tvar, ili 2 — 3 g — ako se očekuje više od 1% pepela na suhu tvar. Najprije se provede predspaljivanje na električnoj grijaćoj ploči dok uzorak ne karbonizira (**Slika 8**). Zatim se lončiči s uzorkom prebace u prethodno zagrijanu mufolnu peć na  $550^{\circ}\text{C}$  i žare u trajanju oko 180 minuta (**Slika 9**). Lončiči se potom izvade i hlade na termorezistentnoj ploči 1 minutu, a potom prebace u eksikator. Ohlađeni lončiči se važu na analitičkoj vagi.



**Slika 8** Predspaljivanje na grijaćoj ploči



**Slika 9** Žarenje u mufolnoj peći

Količina pepela računa se prema jednakosti (5):

$$w = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad (5)$$

gdje je:  $w$  – količina pepela u suhoj tvari [%];

$m_0$  – masa praznog lončića [g];

$m_1$  – masa lončića sa uzorkom [g];

$m_2$  – masa lončića i pepela [g].

## Određivanje udjela masti (ISO 6492)

Osnova određivanja sadržaja masti je njihova ekstrakcija iz uzorka organskim otapalom (petrol-eter) sa ili bez prethodne obrade uzorka kiselinom (HCl).

Postupak ekstrakcije provodi se u ekstraktoru po Soxhletu (**Slika 10**). Najprije se u odmašćeni tuljak za ekstrakciju odvaže oko 20 g uzorka. Tikvica po Soxhletu s nekoliko kuglica za vrenje se prethodno osuši na temperaturi  $103 \pm 2$  °C i hladi u eksikatoru te potom važe na analitičkoj vagi. Osušeni tuljak se stavi u ekstraktor, spoji se tikvica i doda petrol-eter. Ekstrakcija traje 4 sata i to tako da se osigura oko 10 prelijevanja po satu. Otapalo se potom predestilira, a ostatak ispari na vodenoj kupelji te se tikvica suši u sušioniku na 103 °C ili u vakuumu na 80 °C u trajanju od jednog sata. Tikvica se potom hladi u eksikatoru i važe na analitičkoj vagi te se ponovno suši 30 minuta i važe, a postupak se ponavlja do konstantne mase.

Količina masti računa se prema jednakosti **(6)**:

$$w_M = \frac{m_M}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

gdje je:  $w_M$  – količina masti [%],

$m_M$  – masa ekstrahirane masti [g],

$m_0$  – masa uzorka [g].



**Slika 10** Aparatura za ekstrakciju masti po Soxhletu (Jozinović, 2011.)

## Određivanje viskoznosti brašna Brabenderovim viskografom





**Slika 11** Brabenderov Mikro visko-analyzer (Jozinović, 2011.)

Određivanje viskoznosti brašna provedeno je Brabenderovim Mikro visko-analyzer-om, Tip 803202, Brabender GmbH & Co KG, Duisburg, Njemačka (**Slika 11**). Uređaj je povezan s računalom koje upravlja radom uređaja te provodi obradu dobivenih podataka.

Uzorak samljevenog ekstrudata dodan je u destiliranu vodu (u posudu Brabenderovog Mikro visko-analyzera) kako bi se pripravilo 100 g 10% suspenzije. Kod mjerenja reoloških svojstava uzorci su bili podvrgnuti temperaturnom programu:

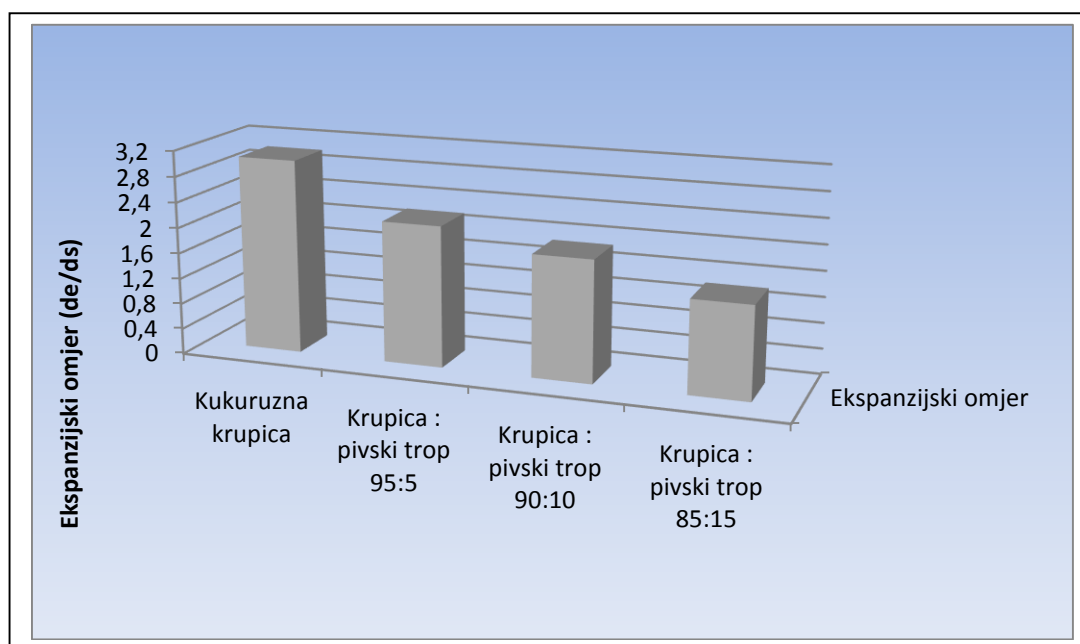
1. Zagrijavanje od 30 do 92 °C, brzina zagrijavanja 7,5 °C/min;
2. Izotermno na 92 °C, 5 minuta;
3. Hlađenje od 92 do 50 °C, brzina hlađenja 7,5 °C/min;
4. Izotermno na 50 °C, 1 minuta.

Mjerenje je provedeno pri okretanju mjernog tijela Brabenderovog Mikro visko-analyzera od 250 rpm. Mjerenjem reoloških svojstava Brabenderovim Mikro visko-analyzerom dobiju se sljedeći parametri:

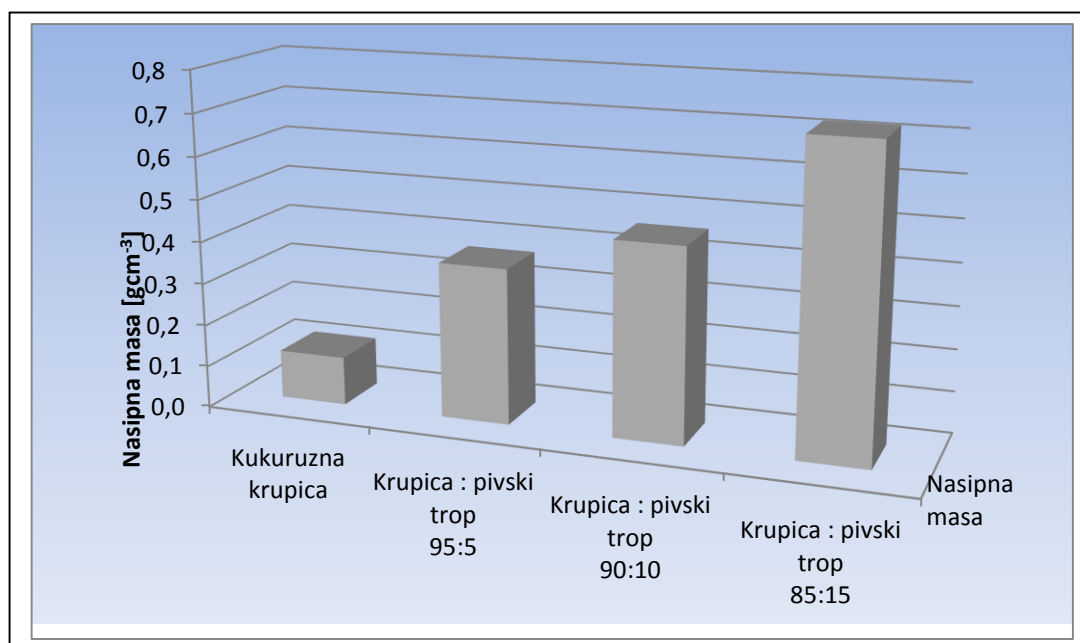
1. Početna temperatura želatinizacije škroba;
2. Viskoznost vrha - označava maksimalnu vrijednost viskoznosti nastale želatinizacijom škroba. Vrijednost se izražava u *Brabenderovim jedinicama* [BU];
3. Vrijednost viskoznosti pri 92 °C; Vrijednost se izražava u *Brabenderovim jedinicama* [BU];
4. Vrijednost viskoznosti nakon 5 minuta miješanja na 92 °C; Vrijednost se izražava u *Brabenderovim jedinicama* [BU];
5. Vrijednost viskoznosti pri 50 °C; Vrijednost se izražava u *Brabenderovim jedinicama* [BU];

6. Vrijednost viskoznosti nakon 1 minute miješanja na 50 °C. Označava stabilnost pri 50 °C; Vrijednost se izražava u *Brabenderovim jedinicama* [BU];
7. *Kidanje* - izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti nakon 5 minuta miješanja na 92 °C od vrijednosti viskoznosti vrha. Označava stabilnost tijekom miješanja pri visokim temperaturama 92 °C [BU];
8. „*Setback*“ - Izračunava se oduzimanjem vrijednosti viskoznosti pri 92 °C nakon 5 minuta miješanja od vrijednosti viskoznosti pri 50 °C; ova vrijednost označava sklonost škrobne paste retrogradaciji [BU].

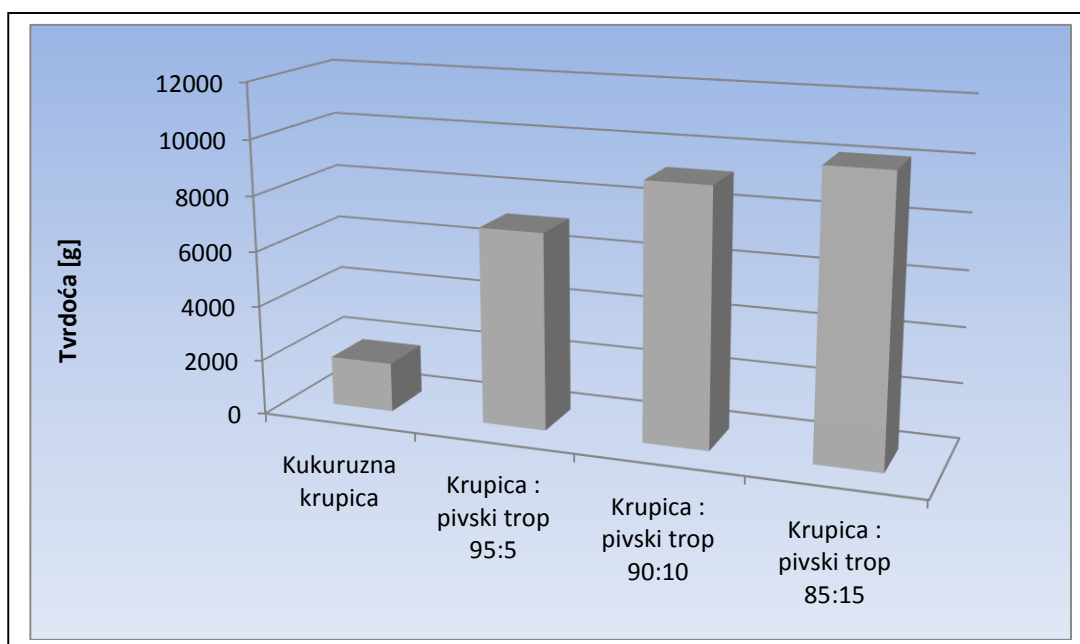
## **4. REZULTATI**



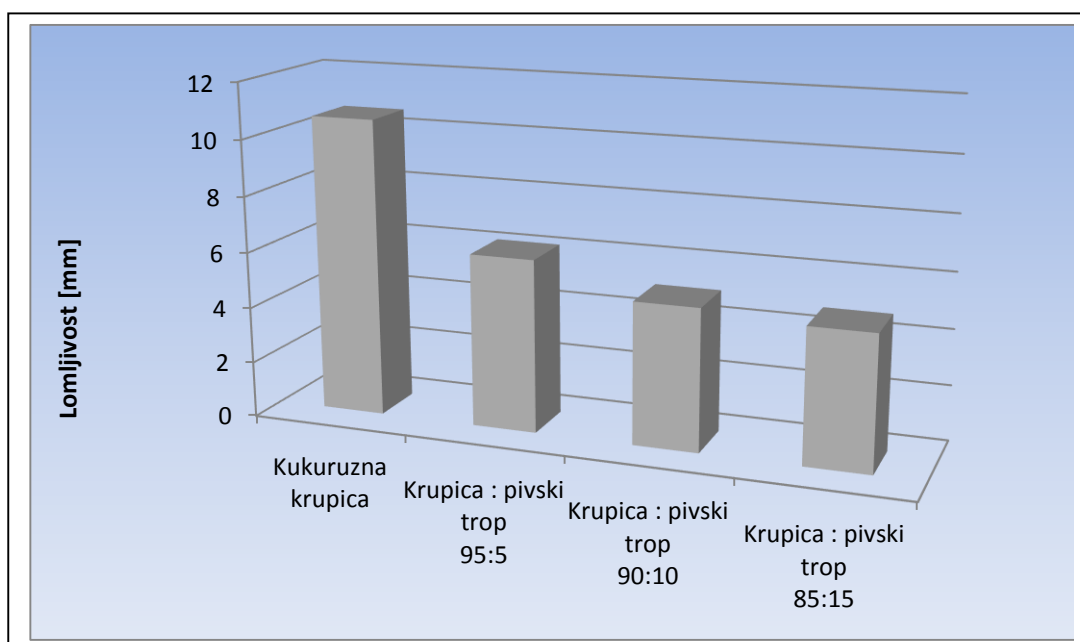
**Slika 12** Utjecaj dodatka pivskog tropa na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata kukuruzne krupice



**Slika 13** Utjecaj dodatka pivskog tropa na nasipnu masu ekstrudata kukuruzne krupice



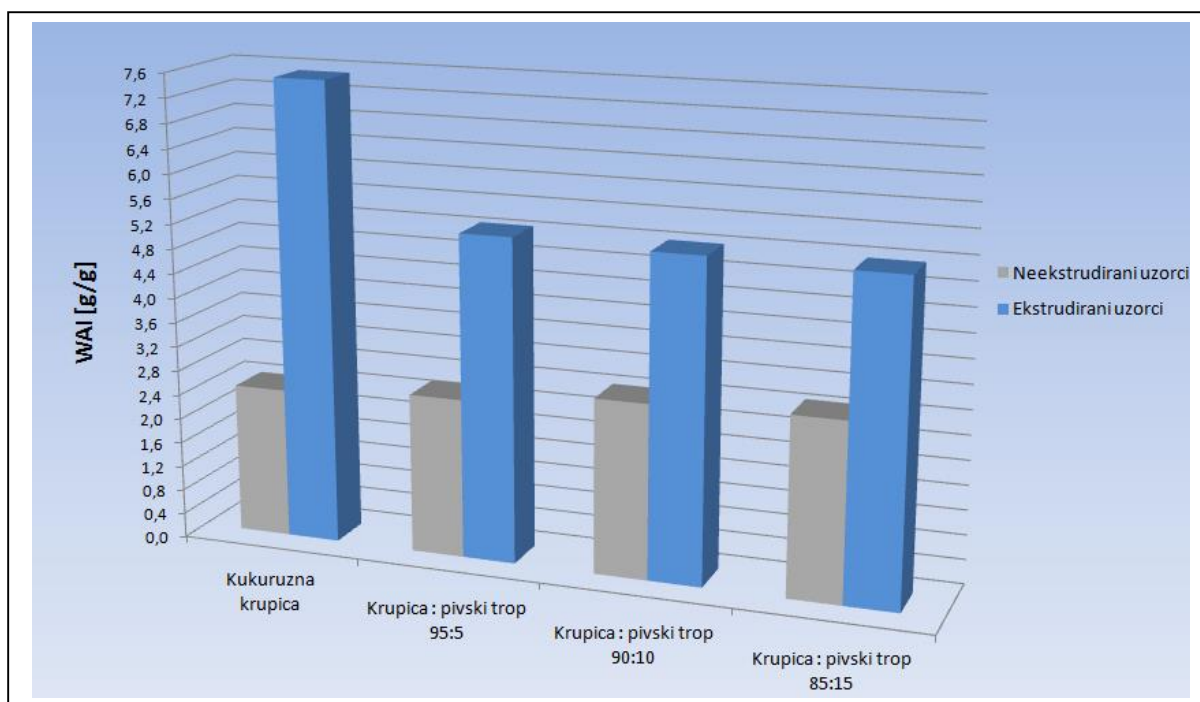
**Slika 14** Utjecaj dodatka pivskog tropa na tvrdoću ekstrudata kukuruzne krupice



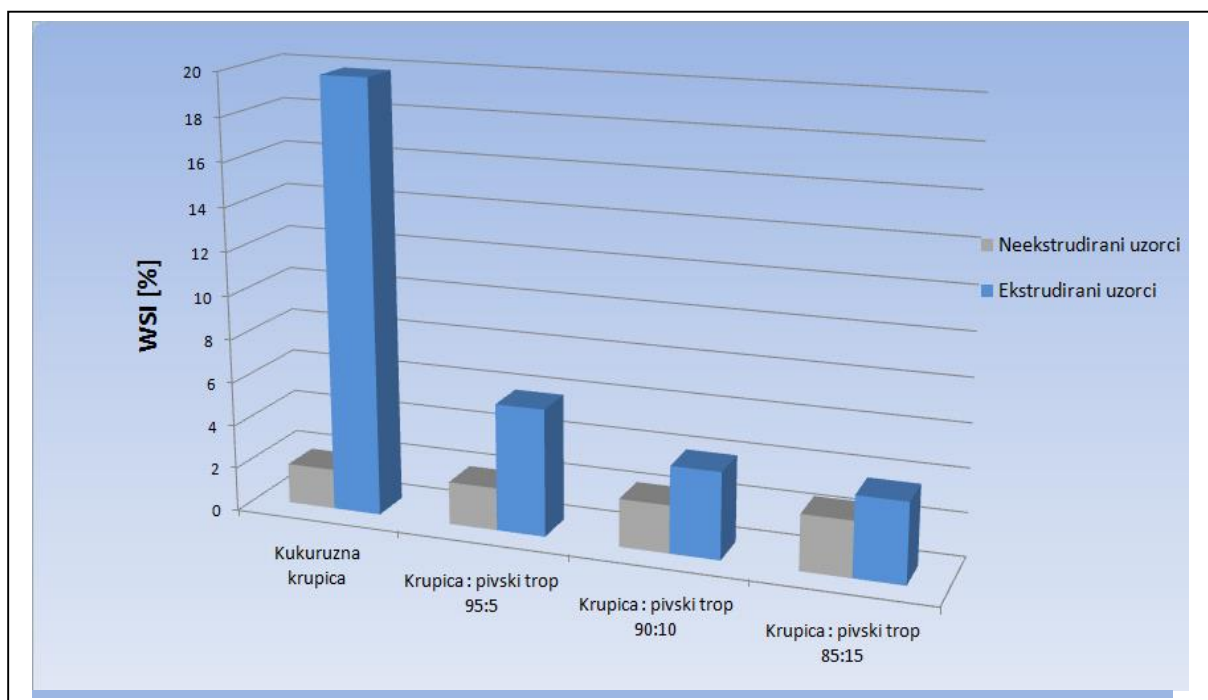
**Slika 15** Utjecaj dodatka pivskog tropa na lomljivost ekstrudata kukuruzne krupice

**Tablica 1** Utjecaj procesa ekstruzije na boju smjesa kukuruzna krupica : pivski trop, određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima

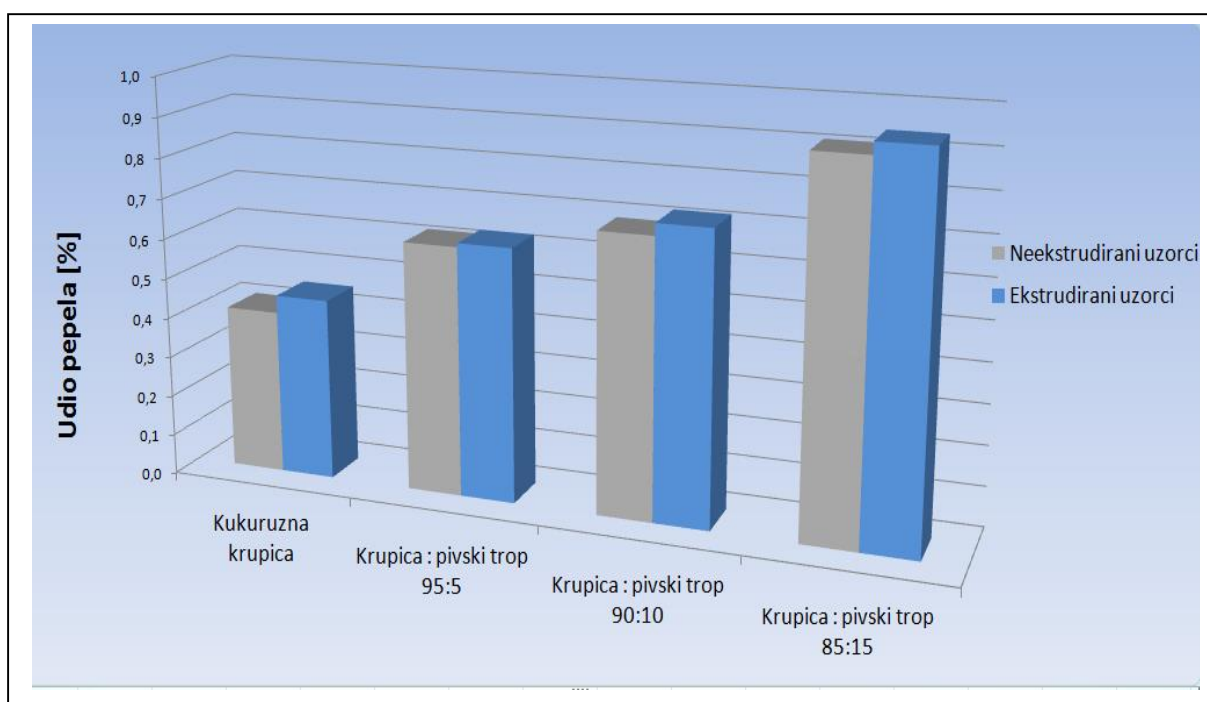
Uzorak	Neekstrudirani uzorci					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Kukuruzna krupica	78,30 ± 0,02 <sup>d</sup>	1,47 ± 0,03 <sup>a</sup>	49,26 ± 0,06 <sup>d</sup>	49,27 ± 0,06 <sup>d</sup>	88,25 ± 0,03 <sup>d</sup>	
Krupica : pivski trop 95:5	70,58 ± 0,02 <sup>c</sup>	1,51 ± 0,02 <sup>a</sup>	40,61 ± 0,03 <sup>c</sup>	40,64 ± 0,03 <sup>c</sup>	87,87 ± 0,03 <sup>c</sup>	11,59
Krupica : pivski trop 90:10	68,85 ± 0,03 <sup>b</sup>	1,48 ± 0,05 <sup>a</sup>	34,01 ± 0,17 <sup>b</sup>	34,04 ± 0,17 <sup>b</sup>	87,50 ± 0,09 <sup>b</sup>	17,94
Krupica : pivski trop 85:15	66,10 ± 0,05 <sup>a</sup>	2,10 ± 0,04 <sup>b</sup>	30,09 ± 0,09 <sup>a</sup>	30,17 ± 0,08 <sup>a</sup>	85,96 ± 0,14 <sup>a</sup>	22,73
Uzorak	Ekstrudirani uzorci					
	L*	a*	b*	C	h°	ΔE
Kukuruzna krupica	81,14 ± 0,02 <sup>d</sup>	-2,95 ± 0,03 <sup>a</sup>	46,12 ± 0,02 <sup>d</sup>	46,22 ± 0,03 <sup>d</sup>	93,65 ± 0,03 <sup>d</sup>	6,12
Krupica : pivski trop 95:5	75,22 ± 0,00 <sup>c</sup>	-1,02 ± 0,04 <sup>b</sup>	36,69 ± 0,08 <sup>c</sup>	36,70 ± 0,09 <sup>c</sup>	91,59 ± 0,06 <sup>c</sup>	13,18
Krupica : pivski trop 90:10	71,54 ± 0,02 <sup>b</sup>	-0,24 ± 0,03 <sup>c</sup>	31,84 ± 0,01 <sup>b</sup>	31,84 ± 0,01 <sup>b</sup>	90,44 ± 0,05 <sup>b</sup>	18,77
Krupica : pivski trop 85:15	68,16 ± 0,02 <sup>a</sup>	1,36 ± 0,03 <sup>d</sup>	28,05 ± 0,03 <sup>a</sup>	28,08 ± 0,03 <sup>a</sup>	87,20 ± 0,02 <sup>a</sup>	23,51



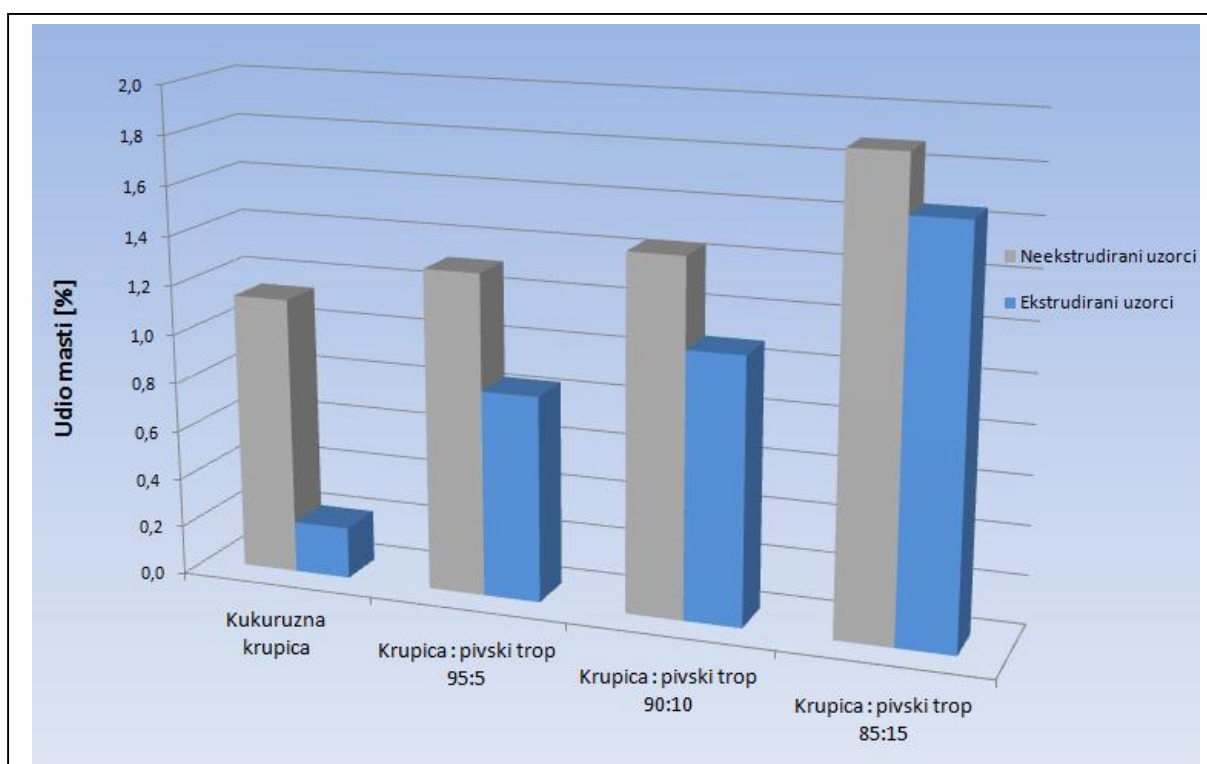
**Slika 16** Utjecaj ekstruzije na indeks apsorpcije vode (WAI) smjesa kukuruzna krupica : pivski trop za ekstrudirane i neekstrudirane uzorke



**Slika 17** Utjecaj ekstruzije na indeks topljivosti u vodi (WSI) smjesa kukuruzna krupica : pivski trop za ekstrudirane i neekstrudirane uzorke



**Slika 18** Utjecaj ekstruzije na udio pepela u smjesama kukuruzna krupica : pivski trop za ekstrudirane i neekstrudirane uzorke



**Slika 19** Utjecaj ekstruzije na udio masti u kukuruznoj krupici te u smjesama kukuruzna krupica : pivski trop za ekstrudirane i neekstrudirane uzorke



**Tablica 2** Utjecaj procesa ekstruzije na viskoznost kukuruzne krupice te smjesa  
kukuruzna krupica : pivski trop

	Kukuruzna krupica	Krupica : pivski trop 95:5	Krupica : pivski trop 90:10	Krupica : pivski trop 85:15
<b>Neekstrudirani uzorci</b>				
viskoznost vrha [BU]	566 ± 14,0 <sup>d</sup>	433,5 ± 1,5 <sup>c</sup>	346,5 ± 5,5 <sup>b</sup>	287,5 ± 3,5 <sup>a</sup>
viskoznost pri 92 °C [BU]	69 ± 3,0 <sup>c</sup>	47 ± 0,0 <sup>b</sup>	51 ± 1,0 <sup>b</sup>	18 ± 1,0 <sup>a</sup>
nakon miješanja na 92 °C [BU]	568,5 ± 12,5 <sup>d</sup>	439 ± 5,0 <sup>c</sup>	346 ± 1,0 <sup>b</sup>	294 ± 5,0 <sup>a</sup>
viskoznost pri 50 °C [BU]	1043,5 ± 15,5 <sup>d</sup>	809 ± 6,0 <sup>c</sup>	636,5 ± 11,5 <sup>b</sup>	559 ± 5,0 <sup>a</sup>
nakon miješanja na 50 °C [BU]	1027 ± 9,0 <sup>d</sup>	808,5 ± 6,0 <sup>c</sup>	631,5 ± 5,5 <sup>b</sup>	568,5 ± 17,5 <sup>a</sup>
kidanje [BU]	6 ± 0,0 <sup>a</sup>	0 ± 0,0 <sup>a</sup>	5,5 ± 4,5 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,5 <sup>a</sup>
„setback“ [BU]	449 ± 4,0 <sup>c</sup>	367,5 ± 0,5 <sup>b</sup>	290,5 ± 15,5 <sup>a</sup>	261,5 ± 4,5 <sup>a</sup>
<b>Ekstrudirani uzorci</b>				
viskoznost vrha [BU]	92 ± 5,0 <sup>a</sup>	192 ± 6,0 <sup>c</sup>	203 ± 4,0 <sup>c</sup>	161,5 ± 1,5 <sup>b</sup>
viskoznost pri 92 °C [BU]	16,5 ± 7,5 <sup>a</sup>	141 ± 6,0 <sup>b</sup>	155 ± 5,0 <sup>b</sup>	135,5 ± 7,5 <sup>b</sup>
nakon miješanja na 92 °C [BU]	5 ± 5,0 <sup>a</sup>	187,5 ± 4,5 <sup>c</sup>	198 ± 3,0 <sup>c</sup>	149 ± 3,0 <sup>b</sup>
viskoznost pri 50 °C [BU]	114,5 ± 7,5 <sup>a</sup>	324,5 ± 3,5 <sup>b</sup>	300,5 ± 7,5 <sup>c</sup>	211,5 ± 1,5 <sup>d</sup>
nakon miješanja na 50 °C [BU]	123 ± 8,0 <sup>a</sup>	320 ± 3,0 <sup>d</sup>	291 ± 5,0 <sup>c</sup>	205,5 ± 1,5 <sup>b</sup>
kidanje [BU]	92 ± 5,0 <sup>b</sup>	4 ± 1,0 <sup>a</sup>	4 ± 0,0 <sup>a</sup>	12,5 ± 4,5 <sup>a</sup>
„setback“ [BU]	105,5 ± 2,5 <sup>b</sup>	132 ± 1,0 <sup>c</sup>	100,5 ± 4,5 <sup>b</sup>	60,5 ± 1,5 <sup>a</sup>

## **5. RASPRAVA**

Zadatak ovog rada bio je utvrditi utjecaj postupka ekstruzije na svojstva smjesa kukuruzne krupice s pivskim tropom.

Na **Slici 12** prikazan je utjecaj dodatka pivskog tropa na ekspanzijski omjer (EO) ekstrudata kukuruzne krupice. Dobiveni rezultati jasno pokazuju smanjenje vrijednosti ekspanzijskog omjera dodatkom i povećanjem udjela pivskog tropa u smjesama kukuruzna krupica : pivski trop.

Ovaj fenomen potvrđuju i Ainsworth i sur. (2007.). Naime, rezultati dobiveni u njihovom istraživačkom radu doveli su do zaključka, kako dodatkom pivskog tropa dolazi do smanjenja udjela škroba, koji je u prvom redu zaslužan za ekspanziju na kraju ekstruzije, u zamjesu za ekstruziju. Time nastaju ekstrudirani proizvodi manjeg ekspanzijskog omjera.

Slične rezultate dobili su i Frohlich i sur. (2012.) dodatkom vlakana iz zelenog graška u brašno žutog graška te Makowska i sur. (2013.) dodatkom pivskog tropa u kukuruznu krupicu, gdje se navodi kako nastanak većeg udjela kompleksa lipid-škrob dodatno smanjuje ekspanziju.

**Slikom 13** prikazan je utjecaj dodatka pivskog tropa na nasipnu masu ekstrudata kukuruzne krupice. Iz dobivenih rezultata možemo uočiti kako se nasipna masa ekstrudata povećava kako se povećava udio pivskog tropa u smjesi.

Gledajući zaključke do kojih su došli Ainsworth i sur. (2007.) te Makowska i sur. (2013.), s pravom možemo ustvrditi da su dobiveni rezultati nasipne mase u skladu s očekivanjem.

Tekstura ekstrudata određena je pomoću analizatora teksture TA.XT2 Plus, Stable Micro System, pri čemu su dobiveni rezultati za tvrdoću i lomljivost. Rezultati pokazuju da se tvrdoća ekstrudata povećavala što je udio pivskog tropa bio veći (**Slika 14**), a lomljivost se u istom slučaju smanjivala (**Slika 15**).

Ktenioudaki i sur. (2013b.) su do sličnih rezultata došli ispitivanjem teksturalnih svojstava pečenih snack proizvoda s dodatkom pivskog tropa. Uočeno je da povećana prisutnost vlakana u tijestu ima limitirajući učinak na aeraciju tijesta, odnosno na njegovu volumenizaciju, što ima za posljedicu tvrđu i manje lomljivu teksturu proizvoda.

**Tablicom 1** su prikazani dobiveni rezultati učinka ekstruzije na boju smjese kukuruzna krupica : pivski trop određenu kromametrom u CIELab i LCh sustavima.

$L^*a^*b^*$  predstavlja ljestvicu boja baziranu na teoriji suprotnih boja, koja postavlja pretpostavku kako receptori u ljudskom oku prepoznaju boje u sljedećim suprotnim parovima:

- $L^*$  vrijednost predstavlja kontrast između svijetlog i tamnog, gdje niža vrijednost (0-50) predstavlja tamniju, a viša vrijednost (51-100) predstavlja svjetliju nijansu;

- **a\*** vrijednost predstavlja kontrast između crvene i zelene boje, gdje pozitivna vrijednost označava crvenu, a negativna vrijednost zelenu boju;
- **b\*** vrijednost predstavlja kontrast između žute i plave boje, gdje pozitivna vrijednost označava žutu, a negativna vrijednost plavu boju.

Kod LCh sustava razlikujemo tri parametra:

- **L\*** vrijednost predstavlja svjetlinu, jednako kao i kod Lab sustava;
- **C** vrijednost predstavlja stupanj saturacije u rasponu od 0, gdje imamo potpunu nezasićenost boje do 100 za visoki stupanj saturacije;
- **h°** vrijednost izražena u stupnjevima predstavlja razne nijanse: 0 - 89° (crvena), 90° - 179° (žuta), 180° - 269° (zelena), 270° - 0 (plava).

Pogledom na dobivene rezultate lako je uočiti blago povećanje vrijednosti parametra L\* nakon provedene ekstruzije kod same kukuruzne krupice i kod svake smjese kukuruzna krupica : pivski trop. Ujedno je vidljivo smanjenje iste vrijednosti dodatkom pivskog tropa čime ustvrđujemo da je dodatak pivskog tropa razlog potamnijavanju smjese i kod neekstrudiranih i kod ekstrudiranih uzoraka.

Vrijednosti parametra a\* kod svih neekstrudiranih uzoraka bile su pozitivne, dakle u domeni crvene boje, dok su nakon ekstruzije te vrijednosti bile negativne, odnosno u domeni zelene boje. Iznimka je bila smjesa kukuruzna krupica : pivski trop (85:15), gdje je ovaj parametar zadržao pozitivnu vrijednost.

Što se tiče vrijednosti parametra b\*, ona je pozitivna za sve neekstrudirane i ekstrudirane uzorke, odnosno u domeni žute boje, no uočava se trend sniženja vrijednosti s dodatkom pivskog tropa, kako kod neekstrudiranih, tako i kod ekstrudiranih uzoraka. Nadalje, nakon ekstruzije kod svih uzoraka došlo je do sniženja vrijednosti parametra b\*.

Vrijednost parametara C za sve uzorke, bilo ekstrudirane ili neekstrudirane, upućuje na relativnu nezasićenost boje te su dodatak pivskog tropa i sam postupak ekstruzije uvijek imali za posljedicu smanjenje saturacije, dok vrijednosti parametara h° u visokoj mjeri potvrđuju vrijednosti a\* i b\* parametara budući da se one nalaze uglavnom u domeni crvene i žute boje.

Ktenioudaki i sur. (2013b.) su senzorskom analizom svojih pečenih snack proizvoda uočili potamnijavanje uzoraka dodatkom pivskog tropa, a sličnim ishodom su to potvrdili i Ainsworth i sur. (2007.) čiji rezultati pokazuju konstantan pad vrijednosti parametra L\* većim udjelom pivskog tropa u ekstrudiranim snack proizvodima.

Dobiveni rezultati mjerenja vrijednosti indeksa apsorpcije na **Slici 16** ukazuju na značajno povećanje ovog parametra nakon provedene ekstruzije. Dok se vrijednosti za sve neekstrudirane uzorke kreću u intervalu od 2,5 do 3 g/g, nakon provedene ekstruzije vrijednosti se skoro udvostručuju u slučaju svih smjesa kukuruzna krupica : pivski trop, a za samu kukuruznu krupicu se čak i utrostručuju. Nadalje, dodatak pivskog tropa dovodi do blagog povećanja indeksa apsorpcije vode neekstrudiranih uzoraka, dok se u odnosu na samu kukuruznu krupicu vrijednost ovog parametra nakon ekstruzije znatno smanjuje kod smjesa.

Indeksom apsorpcije vode mjerimo volumen koji zauzima škrob nakon bubrenja u višku vode, što ujedno održava strukturu škroba u vodenoj disperziji. Ujedno se može smatrati i pokazateljem stupnja želatinizacije. Vrijednost indeksa apsorpcije vode općenito se povećava što je razaranje škroba procesom ekstruzije veće (što se optimalno postiže temperaturnim režimom od 180 °C do 200 °C) (Maskan i Altan, 2012.).

Rezultati istraživačke skupine Stojceska i sur. (2008.) pokazali su redukciju vrijednosti WAI uzoraka s dodanim pivskim tropom u odnosu na kontrolne uzorke. Do sličnih rezultata došli su i Makowka i sur. (2013.) ustvrdivši da se vrijednost indeksa apsorpcije općenito povećava nakon ekstruzije, a Robin i sur. (2011.) su u svojem istraživanju zabilježili pozitivnu korelaciju između početne vlažnosti materijala i vrijednosti WAI. Spomenuti rezultati potvrđuju dobivene rezultate u ovom radu.

Što se tiče indeksa topljivosti u vodi, dobiveni rezultati na **Slici 17** pokazuju da je vrijednost ovog parametara veći za ekstrudirane u odnosu na neekstrudirane uzorke te da se topljivost u vodi neznatno povećala dodatkom pivskog tropa kod neekstrudiranih proizvoda, dok se nakon ekstruzije topljivost u vodi bila je manja što je udio tropa veći, odnosno bolje ekspandirani uzorci imali su veći indeks topljivosti u vodi.

Kada se usporedime indeksi topljivosti ekstrudiranih i neekstrudiranih uzoraka, najveća je razlika primijećena kod kontrolnog uzorka, gdje se topljivost nakon ekstruzije povećala skoro deseterostruko, dok se kod smjesa ta razlika ogleda u znatno manjem omjeru. Ujedno se primjećuje da dodatkom pivskog tropa dolazi do naglog pada indeksa topljivosti u vodi nakon ekstruzije.

Indeks topljivosti u vodi često se uzima kao indikator degradacije molekularnih komponenti te mjeri stupanj konverzije škroba tijekom ekstruzije, koji se ogleda u količini topljivih polisaharida oslobođenih iz škroba nakon ekstruzije (Kirby i sur. 1988.). Topljivost materijala povećava se dezintegracijom granula škroba te se niskomolekularne komponente tope tijekom procesa ekstruzije (Ding i sur. 2005.)

Stojceska i sur. (2008.) pokazuju da različiti udjeli pivskog tropa nisu imali značajan utjecaj na indeks topljivosti u vodi, što potvrđuje dobivene rezultate iz ovog rada. U drugu ruku, značajno

sniženje topljivosti u vodi ekstrudiranih uzoraka s dodanim tropom u odnosu na kontrolni uzorak objašnjivi su značajnom redukcijom intenziteta mehaničkog procesiranja materijala u ekstruderu. Relativno niski udjeli visokomolekularnih polimera u pivskom tropu kao što je škrob, te visoki udjeli netopljivih vlakana i masti dovode do smanjenja tlaka i intenziteta mehaničkog stresa tijekom ekstruzije. S nutricionističkog pogleda, visoki udjeli WSI nakon ekstruzije nisu poželjni te dodatak pivskog tropa dovodi do korisnog sniženja ovog parametra, kako pokazuju i rezultati dobiveni u istraživačkom radu Makowska i sur. (2013.), što potvrđuje i rezultate dobivene u ovom radu.

Na **Slici 18** prikazani su dobiveni rezultati utjecaja ekstruzije na udio pepela u kukuruznoj krupici te u smjesama kukuruzna krupica : pivski trop za ekstrudirane i neekstrudirane uzorke. Vidljiv je neznatan porast udjela pepela nakon provedene ekstruzije u svim uzorcima, ali ujedno se povećavao udio pepela kako se povećavao udio tropa u smjesi i za ekstrudirane i neekstrudirane uzorke. Literaturni podaci navode kako povećani udio vlakana u uzorku tijekom ekstruzije može dovesti do abrazivnog trošenja unutar kućišta ekstrudera, rezultirajući povećanim udjelom mineralnih tvari u ekstrudatu što potvrđuje povišen udio pepela u uzorcima s dodanim pivskim tropom koji je bogat izvor prehrambenih vlakana. (Guy, 2001.)

Camire i Dougherty (1998.) ustanovili su kako ekstruzija na kukuruznu krupicu nema značajan utjecaj na udio pepela. Nadalje Camire (2000.) navodi termostabilnost minerala kao jedan od glavnih razloga za neznatnu promjenu njihovog udjela tijekom ekstruzije.

Dok se udio pepela nije značajnije mijenjao procesom ekstruzije, na **Slici 19** je vidljivo da to baš i nije slučaj s udjelom masti. Naime, nakon provedene ekstruzije, udio masti se značajno smanjio kod svih uzoraka, a dodatak pivskog tropa je kod ekstrudiranih uzoraka doveo do osjetnog povećanja udjela masti nakon provedene ekstruzije. Za neekstrudirane uzorke udio masti se nije odviše povećavao dodatkom tropa. Teorijske osnove smanjenog udjela masti leže u tvorbi kompleksa škrob-lipid tijekom procesa ekstruzije zbog čega ekstrudati imaju smanjeni udio masti (Guy 2001.).

Ainsworth i sur. (2007.) svojim rezultatima ustanovili su da dodatak pivskog tropa u smjesu kukuruzne krupice povećava udio masti zahvaljujući visokom udjelu masti u samom pivskom tropu.

Utjecaj procesa ekstruzije na reološka svojstva kukuruzne krupice i smjesa kukuruzna krupica : pivski trop prikazan je rezultatima u **Tablici 2**. Viskoznost je mjerena Brabenderovim micro-visco-analyzer-om. Dobiveni rezultati pokazuju pad vrijednosti viskoznosti vrha nakon provedene ekstruzije kod svih uzoraka. Daljnjom analizom rezultata vidljiv je pad vrijednosti viskoznosti vrha dodatkom pivskog tropa u smjesama kod neekstrudiranih proizvoda te suprotnu pojavu nakon ekstruzije, gdje je viskoznost vrha bila viša kod smjesa u odnosu na

kontrolni uzorak. Ove rezultate potvrđuju i Ktenioudaki i sur. (2013a.) koji su u svom istraživanju utjecaja dodatka pivskog tropa i tropa od jabuke na reološka svojstva tijesta od pšeničnog brašna također utvrdili pad viskoznosti vrha nakon dodatka pivskog tropa, dok su Colonna i sur. (1989.) svojim ispitivanjem potvrdili niže vrijednosti viskoznosti vrha kod ekstrudiranog škroba usljed nedostatka vlage u odnosu na neekstrudirane škrobne granule kod kojih se viskoznost vrha rapidno povećava usljed intenzivnije želatinizacije.

Viskoznost svih neekstrudiranih uzoraka se zagrijavanjem na temperaturu od 92 °C znatno povećala, da bi se nakon 5 minuta miješanja uzoraka pri toj temperaturi vrijednosti viskoznosti vratile približno na početne. Kod ekstrudiranih uzoraka primjećujemo tek neznatne promjene u vrijednostima viskoznosti zagrijavanjem na 92 °C, pa čak i nakon miješanja uzoraka pri toj temperaturi, što je posljedica viših vrijednosti kidanja za ekstrudirane uzorke kao pokazatelj njihove nestabilnosti pri miješanju na visokoj temperaturi. Neekstrudirani uzorci pokazali su, pak, nešto veću stabilnost pošto im je vrijednost kidanja niža u odnosu na ekstrudirane uzorke.

Hlađenjem uzoraka do temperature od 50 °C dolazi i do znatnog povećanja viskoznosti kod svih uzoraka, koja se značajno ne mijenja ni nakon miješanja uzoraka u trajanju od 5 minuta pri stalnoj temperaturi od 50 °C kao posljedica retrogradacije škroba. Sklonost retrogradaciji škroba očituje se iz vrijednosti „setback-a”, koje su manje kod ekstrudiranih uzoraka u odnosu na neekstrudirane te se rezultati podudaraju s rezultatima Colonna i sur. (1989.). Ujedno, dodatkom pivskog tropa kod neekstrudiranih uzoraka dolazi do smanjenja vrijednosti „setback-a” što je u skladu s rezultatima do kojih su došli Ktenioudaki i sur. (2013a.).

Općenito, dodatak pivskog tropa osiromašuje udio škroba u smjesi i ujedno povećava udio vlakana što je naposljetku očekivano rezultiralo smanjenjem viskoznosti.

## **6. ZAKLJUČCI**



Na osnovi rezultata istraživanja i provedene rasprave u ovom radu, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

1. Ekspanzijski omjer ekstrudata smjesa kukuruzna krupica : pivski trop značajno se smanjio s povećanjem udjela pivskog tropa u zamjes.
2. Nasipna masa ekstrudata smjesa povećavala se proporcionalno dodatku pivskog tropa u zamjes, što odgovara smanjenju ekspanzijskog omjera.
3. Tvrdća ekstrudata se povećavala s povećanjem dodatka pivskog tropa, dok se lomljivost istovremeno smanjivala, što je u skladu s vrijednostima ekspanzijskog omjera, tj. uzorci s manjim ekspanzijskim omjerom imali su veću tvrdoću te manju lomljivost i obratno.
4. Dodatkom pivskog tropa došlo je do potamnjenja uzoraka, dok sam proces ekstruzije tome nije bitno pridonio. Ujedno je primjetan blagi pad zasićenja boje nakon provedene ekstruzije te dodatkom pivskog tropa u zamjes. Boja svih uzoraka bila je u domeni crvene ili žute boje.
5. Indeks apsorpcije vode i indeks topljivosti u vodi znatno su se povećali postupkom ekstruzije.
6. Proces ekstruzije nije imao značajan utjecaj na udio pepela u uzorcima, ali se njegov udio povećao dodatkom pivskog tropa. Udio masti se, pak, dodatkom pivskog tropa i usljed procesa ekstruzije znatno smanjio.
7. Ekstruzija je imala značajan utjecaj na reološka svojstva svih uzoraka, smanjujući im vrijednosti viskoznosti vrha, viskoznosti pri 92 °C i viskoznosti pri 50 °C. Neekstrudirani uzorci stabilniji su tijekom miješanja na visokim temperaturama u odnosu na ekstrudirane, a „setback” vrijednosti ukazuju na manju sklonost retrogradaciji ekstrudiranih uzoraka.

## **7. LITERATURA**

- Ainsworth P, Ibanoglu S, Plunkaett A, Ibanoglu E, Stojceska V: Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81:702-709, 2007.
- Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Karper JM: A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, 53:609-615, 1988.
- Anderson RA, Conway HFM, Pfeiffer VF, Griffin EJ: Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14:4-12, 1969.
- Brnčić M, Karlović S, Bosiljkov T, Tripalo B, Ježek D, Cugelj I, Obradović V: Obogaćivanje ekstrudiranih proizvoda proteinima sirutke. *Mljekarstvo*, 58 (3) 275-295, 2008.
- Camire ME, Dougherty P: Added Phenolic Compounds Enhance Lipid Stability in Extruded Corn. *Journal of Food Science*, 63(3):516- 518, 1998.
- Camire ME: Chemical and Nutritional changes in Food during Extrusion. In *Extruders in Food Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Colonna P, Tayeb J, Mercier C: Extrusion cooking of starch and starchy products. In *Extrusion Cooking* (eds. C. Mercier, P. Linko, J.M. Harper). AACC, USA, pp. 247–319, 1989.
- Ding Q-B, Ainsworth P, Tucker G, Marson H: The Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Rice-Based Expanded Snacks. *Journal of Food Engineering*, 66(3): 283-289, 2005.
- Frohlich P, Boux G, Malcolmson L: Effect of Fibre Enrichment Level and Fibre Particle Size on the Extrusion Properties of Split Yellow Pea Flour. AACC International Annual Meeting and Exposition, Hollywood FL, September 30-October 3, 2012 and the Ninth Canadian Pulse Research Workshop (CPRW) in Niagara Falls ON, November 6-9, 2012.
- Guy R: Extrusion cooking. Woodhead Publishing Limited, England, 2001.
- International Standard Organisation: Animal feeding stuffs – Determination of crude ash. ISO 5984:2002.
- International Standard Organisation: Animal feeding stuffs – Determination of fat content. ISO 6492:1999.
- Jozinović A, Šubarić D, Ačkar Đ, Miličević B, Babić J, Jašić M, Valek Lendić K: Food Industry By-Products as Raw Materials in Functional Food Production. *Hrana u zdravlju i bolesti, znanstveno-stručni časopis za nutricionizam i dijetetiku*, 3(1): 22-30, 2014.
- Jozinović A: Utjecaj ekstruzije na svojstva smjese kukuruzne krupice s heljdinim i kestenovim brašnom. Diplomski rad. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2011.
- Kirby AR, Ollet AL, Parker R, Smith AC: An Experimental Study of Screw Configuration Effects in the Twin-Screw Extrusion-Cooking of Maize Grits. *Journal of Food Engineering*, 8(4): 247-272, 1988.
- Ktenioudaki A, O'Shea N, Gallagher E: Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer's spent grain and apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 116:362–36, 2013a.

- Ktenioudaki, A., Crofton, E., Scannell, A. G. M., Hannon, J. A., Kilcawley, K. N., Gallagher, E. (2013): Sensory properties and aromatic composition of baked snacks containing brewer's spent grain. *Journal of Cereal Science*, 57(3):384–390, 2013b.
- Lovrić T: Ekstruzija (Ekstruzijsko kuhanje). U *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*. Hinus, Zagreb, 2003.
- Maskan M, Altan A: *Advances in Food Extrusion Technology*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2012.
- Makowska A, Mildner-Szkudlarz S, Obuchowski V: Effect of Brewer's Spent Grain Addition on Properties of Corn Extrudates with an Increased Dietary Fibre Content. *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, 63:19-24, 2013.
- Moscicki L: *Extrusion-Cooking Techniques*. WILEY-VCH Verlag & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2011.
- Mussatto, S.I., Dragone, G., Roberto, I.C. (2006): Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43:1–14, 2006.
- Pozderović A: Materijali s predavanja na kolegiju: „Procesi u prehrambenoj industriji“. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2009.
- Riaz MN: *Extruders in Food Applications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Philadelphia, 2000.
- Rossen JL, Miller RC: Food extrusion. *Food Technology*, 27:46-53, 1973.
- Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş: The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47: 469–479, 2008.
- Šubarić D, Babić J, Ačkar Đ: Materijali s predavanja na kolegiju: „Tehnologija ugljikohidrata i konditorskih proizvoda“, Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2011.
- Tanasković I: Utjecaj dodatka zobi na svojstva ekstrudiranih proizvoda na bazi kukuruzne krupice. Diplomski rad. Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 2014.